

CONTROL SYSTEM FOR AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

Pavel Křepelka

Master Degree Programme (1), FEEC BUT
E-mail: xkrepe01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Luděk Žalud
E-mail: zalud@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

Robot Control v.3 is robust control system programmed in Microsoft C#.NET for navigating autonomous mobile robots. Important property of this system is modularity. It means simple adjustment software for different robot configuration, easy modifications, and implementation of new algorithms. The next attributes are visualization of all sensors and algorithm outputs, robustness and fully autonomous mode. System was tested on real robot with laser distance sensor URG – 04, sonars SRF-10 and electronic compass.

1. ÚVOD

Mobilní autonomní robotika je progresivní obor automatického řízení. V současné době se uplatňuje ve vesmírném programu, armádě, v prezentacích firem, atd. V budoucnu je využití dnes vloženého úsilí nepředstavitelné. Je s podivem, že i přes dnes standardně implementované algoritmy, není obecně používán žádný univerzální robustní řídicí systém. Robot Control v.3 je funkční řídicí systém naprogramovaný v jazyce Microsoft C# v prostředí .NET. Jeho hlavním rysem je modularita. To znamená jednoduchá úprava SW pro konkrétní konfigurace robota a jednoduché modifikace a implementace dalších navigačních algoritmů. Dalšími atributy SW jsou vizualizace výstupů senzorů a algoritmů, robustnost a úplná autonomnost. Systém je testován na mobilním robotu s diferenciálním řízením, jako senzory slouží laserový dálkoměr URG-04, sonary SRF-10 a elektronický kompas.

2. ROZBOR

Řídicí systém zajišťuje komunikaci s periferiemi (tj. procesory pro řízení motorů, sběr dat ze senzorů, ...), zobrazuje je a předává filtrovacím a navigačním algoritmům. Celková topologie programu Robot Control a jeho zapojení do robota je na Obrázku 1.

2.1. ODOMETRIE

Odometrie je způsob lokalizace na základě geometrického modelu robota. Při znalosti rozměrů robota a hnaných kol lze za použití informace a počtu otáček kol (resp. počtu ujetých kroků u krokových robotů) vypočítat jeho současnou polohu. Výslednou relativní změnu pozice lze vypočítat podle rovnice (1), kde u_t je počet kroků translačního pohybu (motory se točí na stejnou stranu) a u_r počet kroků rotačního pohybu. Konstanty k určují převod počtu kroků na ujetou vzdálenost (resp. otočení). Stav robota určuje stavový vektor

X (pozice x_x a x_y , natočení x_r). Vlivem chyb (prokluzu, smyk...) přesnost odometrie postupem času rapidně klesá, proto je nutné používat korekční metody (viz. Kapitola 2.2).

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_x}{dt} \\ \frac{dx_y}{dt} \\ \frac{dx_r}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_t \sin(x_r) u_t \\ k_t \cos(x_r) u_t \\ k_r u_r \end{pmatrix} \quad (1)$$

2.2. KALMANŮV FILTR A MONTE CARLO LOKALIZACE

Obě metody používají externí informaci pro korekci predikovaných dat (z odometrie), upravují tedy pravděpodobnost stavu na základě aposteriorní pravděpodobnosti. Kalmanův filtr se v současné verzi používá jen pro korekci translačního pohybu pomocí informace změny vzdálenosti od překážky přímo před robotem. Filtr pracuje na základě nejistot predikčních a korekčních dat. Výpočet znázorňuje rovnice (2), kde d je vzdálenost od překážky před robotem ($d(0)$ je vzdál. při začátku měření a $d(k)$ je vzdál. aktuálně naměřená), l vyjadřuje délku přímočarého pohybu (z odometrie) a K kalmanovo zesílení vypočítané z nejistot odometrie a senzoru.

$$l_{x+1} = l_k + K(d(0) - d(k) - l_k) \quad (2)$$

Monte Carlo lokalizace využívá pro predikci informace z uchovávané mapy. Prostor se na základě nejistot odometrie náhodně vzorkuje z okolí predikované pozice a pomocí informace z mapy určí jednotlivé pravděpodobnosti pozic robota na základě korelace snímaného reálného okolí a okolí naměřeného z mapy.

2.3. IMPLEMENTACE MAPY

Pro ukládání se využívá 2D matice obsazenosti s dynamickou změnou velikosti na všechny směry. Matice uchovává pravděpodobnost obsazenosti jednotlivých buněk. Matematický zápis konstrukce mapy lze vyjádřit jako:

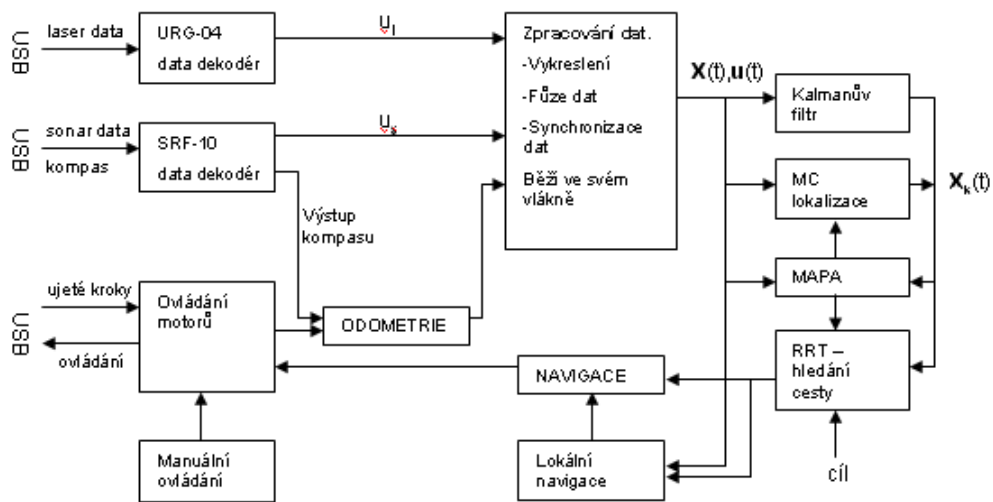
$$\underline{M} = \sum f_m(\bar{u}_l, \bar{x}) \quad (3)$$

V rovnici (3) je vidět, že se mapa konstruuje na základě dat laserového senzoru u_l a současné polohy x .

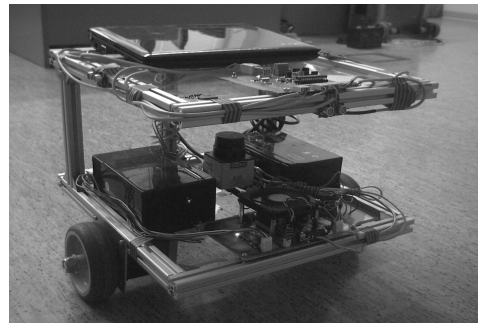
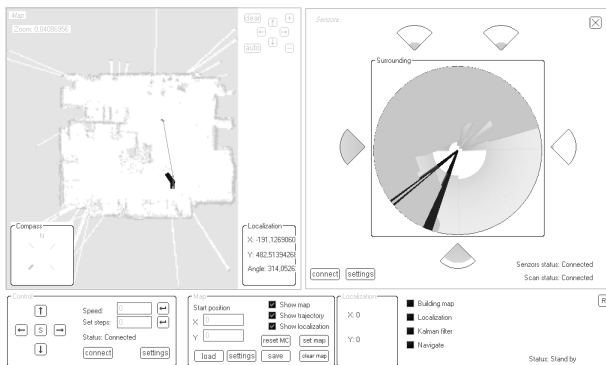
2.4. HLEDÁNÍ CESTY

Pravděpodobnostní algoritmus RRT (rapidly exploring random trees) funguje na základě náhodného vzorkování volného konfiguračního prostoru (volné části mapy), mezi kterými najde propojení. Pomocí vzorků se vygeneruje strom (propojení jednotlivých volných konfigurací). Za použití algoritmu BFS (prohledávání do šířky) se najde nejkratší cesta a nakonec se převzorkováním cesta vyfiltruje (sníží se počet bodů). Tímto postupem se s vysokou pravděpodobností najde vyhovující cesta reprezentovaná minimálním počtem bodů (waypointů). Tyto body se používají pro globální navigaci. Rovnice (4) vyjadřuje proces tvorby cesty na základě mapy M , souřadnic robota X a souřadnic zadaného cíle G .

$$\bar{W} = f_{rrt}(\underline{M}, \bar{x}, \bar{G}) \quad (4)$$



Obrázek 1: Blokové schéma systému Robot Control



Obrázek 2: Robot Control interface (invertované barvy) a testovací robot

3. ZÁVĚR

Uvedený systém je plně funkční a byl s úspěchem otestován na reálném robotu. Díky velmi rychlému pravděpodobnostnímu plánování lze řídicí systém použít i pro dynamické prostředí, což nelze říci o většině globálních navigačních systémů. Celý software je rozčleněn na jednoduché komponenty, což velmi usnadňuje upravování softwaru pro rozdílné konfigurace robotu. V Robot Control jsou implementovány nejčastější algoritmy využívané v mobilní robotice (mřížka obsazenosti, sebelokalizace, RRT...). V průběhu testů robot vždy úspěšně dosáhl zadaného cíle. Do budoucna lze Robot Control rozšířit o další funkce, jako například o automatickou tvorbu mapy nebo převod rastrové mapy na analytický popis překážek pro zrychlení výpočtů nad mapou.

LITERATURA

- [1] H.R. Everett, Sensors for Mobile Robots - Theory and Application, A K Peters, 1995, ISBN 1-56881-048-2
- [2] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, "A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots," Mach. Learning, vol.31, 29–53, 1998.